



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NO BRASIL: SOI e PDO

Tainã Costa Peres (a), Éder Leandro Bayer Maier (b)

(a) Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande, tainacperes@gmail.com

(b) Instituto de Ciências Humanas e da Informação, Universidade Federal do Rio Grande, edermaier@gmail.com

Eixo: A Climatologia no contexto dos estudos da paisagem e socioambientais

Resumo

O objetivo é calcular o índice de correlação entre a anomalia da precipitação no Brasil e os índices climáticos (El Niño-Oscilação Sul/SOI e Oscilação Decadal do Pacífico/PDO) entre 1900-2010. Os dados de precipitação são oriundos do modelo *Global Historical Climatology Network - Monthly* (3.01), disponibilizados pela Universidade de Delaware e os índices climáticos pelo Departamento Australiano de Meteorologia e pelo Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean. A mensuração do índice de correlação foi efetuada para cada ponto da grade, comparando a variabilidade temporal da precipitação com os índices climáticos. A distribuição espacial dos índices de correlação evidenciam que os fenômenos remotos controlam parcialmente a variabilidade da precipitação no Brasil, havendo regionalizações dos maiores índices que evidenciam o modelo gangorra entre as latitudes tropicais/subtropicais. Adicionalmente, a dependência temporal entre a precipitação e os índices climáticos pode ser intensificada ou anulada de acordo com a estação sazonal.

Palavras chave: água; correlação; fatores remotos.

1. Contextualização

A variabilidade climática natural, ao longo do tempo e do espaço, gera impactos na precipitação que ocasiona eventos extremos de chuvas excessivas ou secas. Nesse contexto, o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) modifica a interação oceano-atmosfera sobre o



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Oceano Pacífico Equatorial e, conseqüentemente, a distribuição e a intensidade das chuvas em escala global, causando secas intensas e prolongadas (anomalias negativas) e chuvas excessivas (anomalias positivas) em distintas regiões.

No Brasil, o ENOS é um dos principais fenômenos que causam a variabilidade interanual na precipitação, mas não é o único. Nesse sentido, ressalta-se as influências da Oscilação Decadal do Pacífico (PDO, em inglês), tanto na distribuição espacial e temporal da precipitação, como na alteração do fenômeno ENOS. Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho é calcular o índice de correlação entre a anomalia da precipitação no Brasil e os modos de variabilidade climática (ENOS e PDO) entre 1900 e 2010.

1.1. Precipitação no Brasil

O Brasil, devido sua vasta extensão territorial e sua disposição bi hemisférica, é caracterizado por uma grande diversidade climática. Nesse sentido, a distribuição da água das chuvas é configurada a partir de mecanismos atmosféricos, como padrões de ventos das monções, como as convergências tropicais (Zona de Convergência Intertropical - ZCIT e Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS) e subtropicais, como a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e com os fenômenos atmosféricos dinâmicos (sistemas frontais e complexos convectivos). Além disso, o Brasil tem interação com a extensa Cordilheira dos Andes, com a densa floresta Amazônica e com a região do Chaco (REBOITA *et al.*, 2010).

A variabilidade climática natural causa impactos sobre a precipitação no Brasil, de maneira que, a variabilidade interanual, associada a modos de variabilidade decadal, podem controlar as anomalias interanuais da precipitação do Brasil. Além disso, existe a variabilidade espacial da precipitação, associada ao modelo bi espacial (gangorra) entre as baixas e médias



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

latitudes, isto é, chuvas acima da média nas latitudes tropicais, e secas prolongadas nas latitudes subtropicais do Brasil, simultaneamente (ou o cenário contrário) (GRIMM, 2009). No entanto, os modos de variabilidade destacados neste estudo serão o El Niño-Oscilação Sul (ENOS – escala temporal interanual) e a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO, escala temporal decadal).

2. Materiais e Métodos

2.1 Dados

Os dados de reanálise dos totais mensais da precipitação (precipitação v3.0), entre 1900 e 2010, são disponibilizados gratuitamente, pela Universidade de *Delaware* (DLW), no link: https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.UDel_AirT_Precip.html. Esses dados são oriundos da compilação de dados de observações (estações) históricas de diversas fontes e compõem o *Global Historical Climatology Network Monthly* (GHCN-M). Os valores dos totais mensais de precipitação da DLW, foram interpolados espacialmente em uma grade de 0,5° de latitude e longitude, onde os nós da grade estão centralizados no grau de 0,25. Mais informações sobre as fontes e a metodologia podem ser encontradas em Matsuura e Willmott (2012). Ressalta-se que, os dados mensais de precipitação da DLW foram validados, através do teste estatístico *Kolmogorov-Smirnov* (KS), com uma significância de 95%, conforme relatam Peres, Ramos e Maier, 2018.

Os índices climáticos, *Southern Oscillation Index* – SOI e *Pacific Decadal Oscillation* – PDO, foram utilizados para melhor compreender a variabilidade da precipitação no Brasil. As informações sobre os índices utilizados podem ser encontradas na Tabela 1. O SOI oferece uma indicação do desenvolvimento e intensidade dos eventos El Niño ou La Niña no Oceano Pacífico Equatorial, para o período entre 1900 a 2018. O mesmo é calculado usando as



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

diferenças das anomalias de pressão entre Tahiti e Darwin, em que valores negativos/positivos indicam ocorrência de El Niño/La Niña. A PDO é baseada nas anomalias mensais de Temperatura Superficial do Mar (TSM) do Oceano Pacífico Norte desde 1900, em que valores positivos/negativos sugerem que a PDO está na fase quente/fria (JISAO, 2017).

Tabela 1: Dados referentes aos índices climáticos.

| Sigla | Período | Fonte e link para referências |
|-------|-----------|--|
| SOI | 1900/2010 | DMA- http://www.bom.gov.au/climate/glossary/soi.shtml |
| PDO | 1900/2010 | JISAO - http://research.jisao.washington.edu/pdo/ |

2.2 Técnicas Estatística

As anomalias da precipitação são obtidas pela subtração da média mensal das amostras, essa técnica minimiza a influência do ciclo sazonal e maximiza a variabilidade em outras escalas temporais. Além disso, mensurou-se o índice de correlação (Equação 1) entre as séries de precipitação e as séries dos índices climáticos listados na Tabela 1. Adicionalmente, as séries foram divididas conforme as estações sazonais, com a seguinte distribuição temporal: verão: dezembro/janeiro/fevereiro; outono: março/abril/maio; inverno: junho/julho/agosto; e primavera: setembro/outubro/novembro.

$$r = \frac{\sum m \sum n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{(\sum m \sum n (A_{mn} - \bar{A})^2)(\sum m \sum n (B_{mn} - \bar{B})^2)}} \quad \text{Equação 1}$$

onde, \bar{A} é igual a média de A e \bar{B} é igual a média de B.

Para avaliar a significância dos índices de correlação realizou-se o cálculo do valor P (p-valor) com limiar de 95%. Os valores de P variam entre 0 e |1|, sendo que os valores próximos a 0 indicam que a correlação entre as variáveis é significativa. Por exemplo, se o valor P for pequeno, menor que 0,05, então a correlação é significativa (95%).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

3. Resultados e Discussões

3.1 Análise da correlação entre a anomalia da precipitação e o índice SOI (1900-2010)

Os resultados obtidos para a correlação entre o índice SOI e as séries da anomalia da precipitação no Brasil (1900/2010) podem ser observados na Figura 1a. Já nas Figuras 1 (b, c, d, e) podem ser observados os resultados obtidos sazonalmente, verão, outono, inverno e primavera, respectivamente. Destaca-se que serão discutidos apenas os índices de correlação que apresentaram significância acima de 95%. Nesse sentido, os índices de correlações negativas evidenciam que El Niño/La Niña estão associados a chuvas acima da média/secas, enquanto que as correlações positivas indicam El Niño/La Niña associados a secas/chuvas acima da média.

Na análise geral (Figura 1a), observa-se o predomínio do padrão bi espacial entre as latitudes equatoriais e as latitudes ao sul de 10°S, em que prevalece uma correlação positiva nas latitudes equatoriais, e correlação negativa nas latitudes subtropicais. Além disso, percebe-se um padrão de correlação positiva alongado, no sentido leste/oeste, nas latitudes equatoriais, indicando que o ENOS influencia a ZCIT. Já as correlações negativas, na região sul, estão associadas a variabilidade das passagens dos sistemas frontais (SF), sendo que em período de El Niño/La Niña observa-se maior/menor frequência de SF que causam anomalias positivas/negativas da precipitação pluviométrica. De acordo com Grimm (2009) o fenômeno ENOS é a principal fonte da variabilidade interanual do clima no Brasil. Adicionalmente, as correlações negativas em latitudes tropicais (entre 10° e 20° sul) e as longitudes (40° e 55° Oeste) evidenciam que a ocorrência do El Niño/ La Niña predomina o registro de chuvas acima/abaixo da média, com destaque para o verão e o inverno (Figura 1 b e d).



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

Correlação entre a anomalia da precipitação e o índice Oscilação Sul (1900/2010)

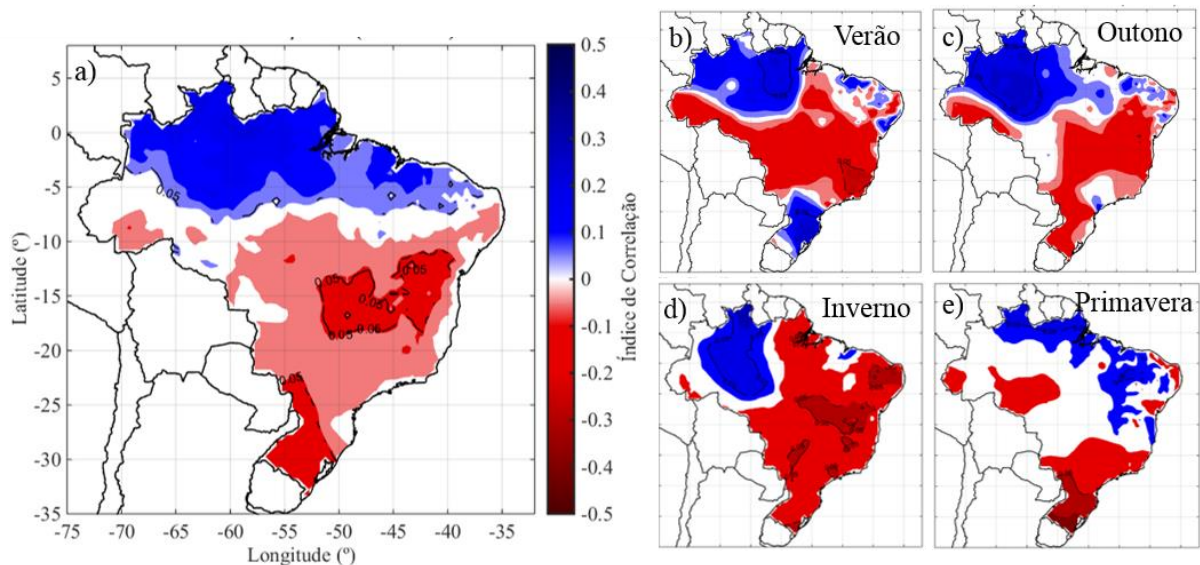


Figura 1 a) Correlação entre a anomalia da precipitação pluviométrica e o índice SOI (1900-2010); b) Correlação do verão; c) Correlação do outono; c) Correlação do inverno; d) Correlação da primavera. As cores representam os índices de correlação e a linha (preta) representa o p-valor com 95% de significância.

No verão (Figura 1b) verificam-se correlações positivas no norte da Amazônia, evidenciando que as anomalias negativas podem estar associadas a entrada de umidade do Atlântico para o continente, porque em períodos de El Niño ocorre a desintensificação da circulação equatorial sobre o Atlântico Tropical, levando menos umidade para o interior do continente. O sul do Brasil, também apresenta correlações positivas, sendo marcado pela passagem de sistemas frontais, de maneira que, em anos de El Niño esses sistemas ficam bloqueados em torno de 30° sul, causando chuvas acima da média no extremo sul, e uma anomalia negativa em Santa Catarina e Paraná.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

No outono (Figura 1c), observa-se que há predominância de correlações positivas na área de atuação da ZCIT, de maneira que, a desintensificação/intensificação desse sistema de convergência gera essa grande faixa de anomalia negativa, que significa secas/chuvas acima da média para El Niño/La Niña. No inverno (Figura 1d) as correlações positivas localizam-se no noroeste da Amazônia, e ocorrem pela inibição das convergências em forma de CCMs, visto que a ZCIT está atuando no HN.

Na primavera (Figura 1e) as correlações positivas encontram-se sobre o norte da Amazônia e sobre o Nordeste brasileiro, de maneira que, as anomalias continuam vinculadas a ZCIT e parte do nordeste associado ao regime de chuvas dos ventos alísios de sudeste e as convergências que ocorrem na área de transição entre os biomas Amazônia e a Caatinga. No sul do Brasil, encontram-se os índices de correlações negativas mais significativos, e pode-se observar a influência dos sistemas frontais. Esses sistemas conseguem atingir latitudes próximas ao trópico, visto que nesse período, não estão restritos ao sul do Brasil, prevalecendo uma dependência espacial maior a esses sistemas, perturbados pelo El Niño e pela La Niña.

3.2 Análise da correlação entre a anomalia da precipitação e o índice PDO (1900-2010)

Os resultados obtidos para a correlação entre o índice PDO e as séries da anomalia da precipitação no Brasil (1900/2010) podem ser observados na Figura 2a. Já nas Figuras 2 (b, c, d, e) podem ser observados os resultados obtidos sazonalmente, verão, outono, inverno e primavera, respectivamente. Destaca-se que serão discutidos apenas os índices de correlação que apresentaram significância acima de 95%. Os índices de correlações negativas evidenciam que as fases fria/quente da PDO estão associadas a anomalias negativas/positivas da precipitação e os índices de correlações positivos evidenciam que as fases fria/quente da PDO



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

estão associadas a anomalias positivas/negativas da precipitação. Além disso, as oscilações da PDO intensificam/desintensificam as fases do ENOS (KAYANO e ANDREOLI, 2009).

Na análise geral (Figura 2a), pode-se observar o predomínio do padrão bi espacial entre as latitudes equatoriais e as latitudes ao sul de 10°S, em que prevalece uma correlação negativa nas latitudes equatoriais, e uma correlação positiva nas latitudes subtropicais. Esse padrão mostra resultados semelhantes com os encontrados para o ENOS.

Correlação entre a anomalia da precipitação e o índice de Oscilação Decadal do Pacífico (1900/2010)

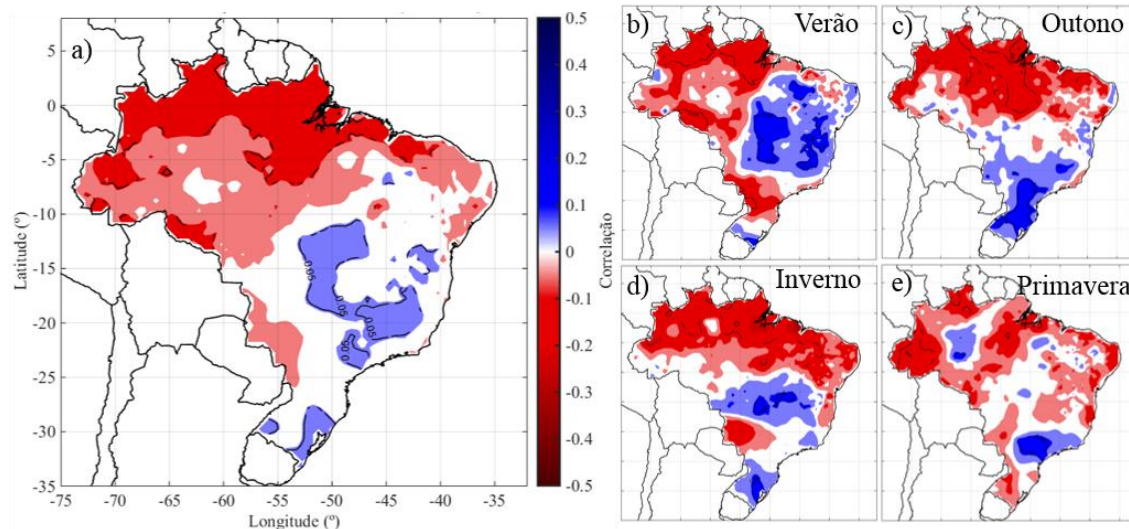


Figura 2: a) Correlação entre a anomalia da precipitação e o índice de PDO (1900-2010); b) Correlação do verão; c) Correlação do outono; c) Correlação do inverno; d) Correlação da primavera. As cores representam os índices de correlação e a linha (preta) representa o p-valor com 95% de significância.

No verão (Figura 2b) as correlações negativas encontram-se na Amazônia e parte do centro-oeste e sul brasileiros. Já as correlações positivas encontram-se no nordeste, parte do centro-oeste e extremo sul do Brasil. A relação da circulação monçônica com as precipitações



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

no verão aumenta a área de influência dos fenômenos que ocorrem no Oceano Pacífico para as latitudes austrais. Isso pode ser observado com o padrão espacial das correlações negativas no Mato Grosso do Sul, Paraná e Santa Catarina (Figura 2b).

No outono (Figura 2c) as correlações positivas encontram-se nas latitudes subtropicais, enquanto que as correlações negativas se observam nas latitudes equatoriais. Dessa maneira, verifica-se a predominância de um padrão bi espacial entre latitudes baixas e médias. No inverno (Figura 2d) as correlações negativas concentram-se nas latitudes equatoriais, sendo possível observar um predomínio zonal (leste/oeste) dessa correlação. Existem dois núcleos de correlações positivas, um na região central e outro na região sul do Brasil. Na primavera (Figura 2 e) observam-se baixas magnitudes dos índices de correlação, de maneira que, existem núcleos de correlação positiva/negativa na Amazônia, que podem estar associados aos diferentes núcleos de precipitação relatados por Marengo e Nobre (2009).

4. Considerações Finais

Ao comparar a anomalia da precipitação no Brasil (1900-2010) com os índices climáticos SOI e PDO, observou-se que o fenômeno ENOS configura o modo de variabilidade de gangorra, predominando alta correlação nas baixas (equatoriais) e médias (subtropicais) latitudes. Essa configuração influencia na intensificação/desintensificação de mecanismos de transporte e convergência de umidade, como, por exemplo, a ZCIT e os sistemas frontais. Observou-se também que a PDO intensifica/desintensifica um padrão semelhante ao ENOS, modulando a intensidade e frequência de eventos de El Niño/La Niña.

Destaca-se que ambos os modos de variabilidade climática possuem variações sazonais, associadas as estruturas atmosféricas que causam uma estrutura bi-modal. Além disso, os



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

resultados do ENOS e da PDO corroboram com as principais bibliografias do assunto. Sendo possível observar que o ENOS é a principal fonte de variabilidade interanual da precipitação no Brasil, bem como, é a fonte que causa maior impacto espacial. Além disso, percebeu-se que modos de variabilidade de baixa frequência, como a PDO, podem intensificar/desintensificar modos de variabilidade de maior frequência, como o ENOS.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências Bibliográficas

BUREAU OF METEOROLOGY. Índice de Oscilação Sul (SOI) desde 1876. Disponível em: < <http://www.bom.gov.au/climate/glossary/soi.shtml>>. Acesso em 15 de out. de 2018.

GRIMM, A.M. Variabilidade interanual do clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F., FERREIRA, A.N.J.; JUSTI DA SILVA, M.G; SILVA DIAS, M.A.F. (Org.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 353–374.

KAYANO, M, T; ANDREOLI, V, R. Clima da Região Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I, F, A. FERREIRA, N, J. SILVA, M, G, A, J. DIAS, M, A, F, S (Org). **Tempo e Clima no Brasil**. Editora Oficina de Textos, São Paulo, 2009, p. 213 – 233.

MARENGO, J, A; NOBRE, A, C, Clima da Região Amazônica. In: CAVALCANTI, I, F, A. FERREIRA, N, J. SILVA, M, G, A, J. DIAS, M, A, F, S (Org). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 197 – 212.



XVIII
SBGFA

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE
GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA

GEOGRAFIA FÍSICA E AS MUDANÇAS GLOBAIS

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ • FORTALEZA - CE • 11 A 15 DE JUNHO DE 2019

MATSUURA, K.; WILLMOTT, C.J. **Terrestrial precipitation: 1900–2010 gridded monthly time series (versão 3.01)**. Newark – EUA: Center for Climatic Research, Department of Geography, University of Delaware, 2012. Disponível em: <http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/Global2011/README.GlobalTsP2011.html>. Acesso em 01 de out. 2018.

PERES, T, C. RAMOS, C, M, T. MAIER, E, L, B. Precipitação no Brasil: validação e estatística descritiva dos dados de precipitação da universidade de *Delaware*. In: XXXV Encontro Estadual de Geografia, 2018, Erechim. **Anais do XXXV Encontro Estadual de Geografia...**Erechim: Universidade Federal da Fronteira Sul, 2018, v. 35.

REBOITA, M.S., GAN, M.A., ROCHA, R.P. e AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185–204, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v25n2/a04v25n2.pdf>>. Acesso: 19 set. 2017.

RESEARCH. JISAO. A Oscilação Decadal do Pacífico (ODP). Disponível em: <<http://research.jisao.washington.edu/pdo/>>. Acesso em 15 de out. de 2018.